

Studi Alternatif Perencanaan Pola Operasi Dan Alokasi Air Waduk Titab

I Putu Aldy Pradana Elsaputra, Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail : aldypradana111@gmail.com, nadjadji@ce.its.ac.id

Abstrak— Waduk Titab terletak di DAS Sungai Saba, kecamatan Busungbiu, Kabupaten Buleleng. Waduk Titab dirancang sebagai penyedia air untuk irigasi, air baku dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Waduk ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan masyarakat Buleleng dan sekitarnya sebagai waduk serbaguna sehingga perlu adanya perencanaan operasional waduk yang baik.

Waduk yang rampung pada tahun 2015 ini direncanakan akan beroperasi pada tahun 2016. Namun karena terdapat masalah struktur bada bendungan, pengoperasian diundur sampai tahun 2017. Pada awalnya dari pihak pembangun dari waduk ini sudah menyusun perencanaan pola pengoperasian waduk, akan tetapi penyusunan tersebut dilakukan ketika waduk masih belum selesai dibangun. Maka dari itu direncanakan alternatif pola operasi setelah waduk selesai dibangun sebagai pembandingan pola operasi yang telah ada (eksisting).

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu debit inflow waduk diperoleh dari perhitungan debit aliran rendah dengan metode FJ Mock, kemudian dibangkitkan untuk 30 tahun ke depan dengan metode Thomas Fiering. Hasil dari bangkitan debit inflow, debit maksimal sebesar $23,23 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan debit terendah adalah $1,28 \text{ m}^3/\text{detik}$. Untuk debit outflow maksimal sebesar $6,24 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan debit terendah sebesar $3,55 \text{ m}^3/\text{detik}$. Besar kebutuhan air irigasi maksimum untuk awal masa tanam Nopember I dengan luas daerah irigasi 3589,64 Ha D.I. Saba adalah $3,66 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan untuk daerah irigasi puluran kebutuhan maksimum sebesar $1,02 \text{ m}^3/\text{detik}$. Besar kebutuhan air baku untuk tahun 2017-2046 pada keadaan normal adalah sebesar 583,50 lt/dt. Sedangkan besar kebutuhan air baku pada hari maksimum adalah sebesar 671,02 lt/dt. Untuk jam puncak adalah sebesar 1021,12 lt/dt. Besar debit Andalan 80% yang digunakan adalah sebesar $1,55 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk perhitungan potensi PLTA dan dapat membangkitkan daya sebesar 0,74 MW, serta energi listrik hingga mencapai 6510,61 MWh. Dan dari hasil perbandingan yang telah dibuat, dapat diketahui bahwa alternatif yang lebih baik adalah perhitungan perencanaan simulasi pola operasi hasil studi. Alasan dari penilaian ini adalah perencanaan hasil studi dilakukan setelah waduk sudah selesai dibangun, sudah dilakukan optimasi kebutuhan air yang diperlukan, dan tingkat keberhasilan waduk dari perencanaan studi yaitu rata-rata sebesar 98,50% yang mana tingkat keberhasilan tersebut lebih besar dari perencanaan pada eksisting.

Kata kunci: Waduk Titab, Operasi, Irigasi, PLTA, Air Baku

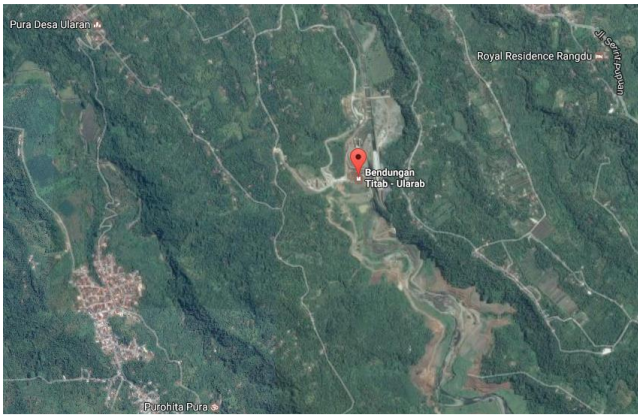
I. PENDAHULUAN

Air sebagai salah satu sumber daya alam yang mempunyai keterbatasan-keterbatasan dari segi jumlah, ruang maupun waktu. Mengingat

keterbatasan tersedianya air tersebut, maka potensi air yang ada harus dimanfaatkan dengan sebaiknya. Untuk dapat merealisasi hal tersebut, diperlukan sarana dan prasarana pendukung yang baik. Dalam hal ini adalah pemanfaatan air secara optimal, diantaranya dengan pembangunan waduk. Dengan adanya waduk maka kelebihan air pada musim hujan dapat ditampung dan dimanfaatkan selama musim kemarau serta dapat sebagai pengendali banjir pada musim penghujan.

Salah satu waduk yang baru selesai dibangun untuk mengatasi permasalahan di atas adalah waduk Titab. Waduk Titab berada di Sungai Saba yang hulunya terletak di Kabupaten Tabanan dan bermuara pada kawasan kegiatan ekonomi di Kecamatan Seririt, Kabupaten Buleleng untuk kebutuhan irigasi masyarakat sekitar. Waduk ini juga direncanakan sebagai waduk tahunan yang dioperasikan sebagai penyuplai ketersediaan air bersih di daerah Buleleng dan sekitarnya, pembangkit tenaga listrik. Agar waduk ini dapat memenuhi kebutuhan masyarakat Buleleng dan sekitarnya sebagai waduk serbaguna, perlu adanya operasional waduk yang baik.

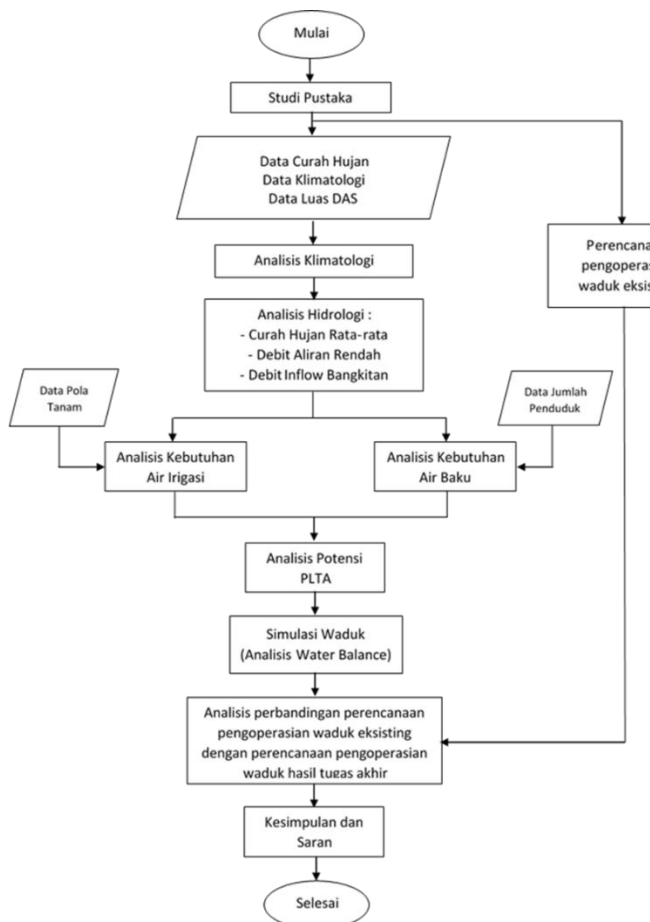
Waduk yang rampung pada tahun 2015 ini direncanakan akan beroperasi pada tahun 2016. Namun karena terdapat masalah struktur bada bendungan, pengoperasian diundur sampai tahun 2017. Pada awalnya dari pihak pembangun dari waduk ini sudah menyusun perencanaan pola pengoperasian waduk, akan tetapi penyusunan tersebut dilakukan ketika waduk masih belum selesai dibangun. Maka dari itu direncanakan alternatif pola operasi setelah waduk selesai dibangun sebagai pembandingan pola operasi yang telah ada (eksisting) dan dilakukan optimasi apabila pada perhitungan studi terjadi kekurangan atau kelebihan air.



Gambar 1. Peta Lokasi Waduk Titab

II. METODE PENELITIAN

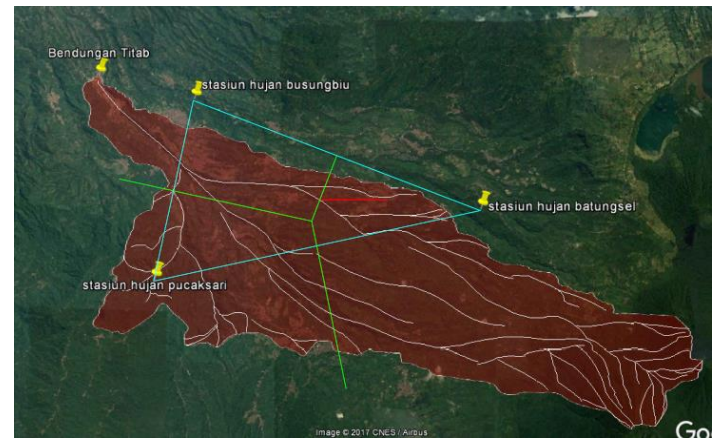
Metodologi yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Curah Hujan Rata-rata



Gambar 3. Luas Daerah Pengaruh Stasiun Hujan Busungbiu, Batungsel, dan Pucaksari

Luas total DAS Waduk Titab adalah 84 km². Luas daerah pengaruh stasiun Busungbiu sebesar 12.56 km² sehingga faktor pembobotnya sebesar 0,15. Luas daerah pengaruh stasiun Batungsel sebesar 46.72 km² sehingga faktor pembobotnya sebesar 0,56. Luas daerah pengaruh stasiun Pucaksari sebesar 24.72 km² sehingga faktor pembobotnya sebesar 0,29.

Tabel 1.
Curah Hujan Rata-Rata (mm/15 hari)

Tahun	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni	
	Jan-1	Jan-2	Feb-1	Feb-2	Mar-1	Mar-2	Apr-1	Apr-2	Mei-1	Mei-2	Jun-1	Jun-2
2007	51.26	43.12	159.22	183.35	256.12	184.72	187.84	236.38	94.01	150.21	57.33	107.20
2008	178.44	114.52	137.78	169.54	329.19	349.57	72.12	39.45	89.32	112.60	26.69	13.90
2009	140.98	227.71	198.30	242.11	143.00	144.64	286.75	163.08	135.89	161.64	37.44	39.04
2010	268.22	197.30	201.37	154.31	198.05	315.23	98.81	225.73	192.59	289.75	122.83	103.83
2011	285.53	325.93	210.58	139.24	149.00	187.85	212.87	230.24	147.57	156.97	16.44	10.01
2012	310.71	285.46	225.34	197.82	329.33	243.97	175.47	253.84	54.16	108.46	5.75	0.00
2013	240.11	224.14	227.21	223.20	107.12	208.00	88.33	185.42	107.98	159.98	146.61	191.67
2014	321.30	292.89	129.17	150.10	149.99	113.40	115.49	73.43	85.38	68.12	5.08	4.86
2015	243.28	168.33	157.52	278.47	227.82	288.80	211.16	194.54	28.51	19.26	22.89	6.13
2016	194.89	127.28	341.83	197.94	151.91	243.09	255.91	153.99	144.85	168.98	138.85	345.70
Tahun	Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
	Jul-1	Jul-2	Ag-1	Ag-2	Sep-1	Sep-2	Okt-1	Okt-2	Nov-1	Nov-2	Des-1	Des-2
2007	40.40	32.66	5.00	16.89	11.54	5.76	15.30	3.62	69.20	153.25	299.68	322.74
2008	7.68	13.62	11.95	24.47	8.00	7.55	157.13	203.85	188.12	241.06	118.74	194.42
2009	27.58	38.35	0.75	4.02	9.18	48.67	118.04	85.37	198.87	92.73	104.85	150.82
2010	115.03	115.82	39.18	161.52	294.61	317.05	296.82	342.60	349.41	384.46	213.73	204.34
2011	16.14	18.85	0.00	0.00	25.31	13.08	108.28	48.84	319.23	230.23	210.49	93.55
2012	0.00	21.84	0.00	2.78	6.12	12.24	67.07	93.36	132.37	187.41	283.57	193.79
2013	22.24	89.30	0.75	0.75	0.00	8.34	45.35	74.43	209.57	168.37	398.24	368.75
2014	17.40	27.12	7.23	24.35	0.00	0.00	4.13	4.13	273.33	180.14	315.60	346.14
2015	1.89	0.00	0.00	1.72	1.39	1.39	7.44	0.56	129.64	230.23	275.13	147.44
2016	122.34	180.51	23.38	80.04	183.24	108.17	272.49	205.68	288.59	308.73	309.60	407.66

B. Analisis Evapotranspirasi

Data klimatologi diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Jember. Data yang tercatat yaitu suhu rata-rata bulanan 23 °C sampai dengan 29 °C. Sedangkan penguapan rata-rata bulanan berkisar antara 2 mm sampai dengan 11 mm.

Berikut ini contoh perhitungan evapotranspirasi pada bulan Januari (*Lily Montarcih Limantara, 2010*):

1. Data klimatologi pada bulan Januari

- Suhu rata-rata (T) : 28 °C
- LL (Seririt) : 8° LS → P = 0.29
- C : 0.8

2. Perhitungan

- $ET_o^* = P (0.457 t + 8.13)$
 $= 0.29 (0.457 \times 28 + 8.13) = 6.03$
- $ET_o = C \cdot ET_o^*$
 $= 0.8 \times 6.03 = 4.82 \text{ mm/hari}$

Tabel 2.
Perhitungan Evapotranspirasi Potensial

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
T	28	27	29	28	28	28	29	28	28	28	28	26
P	0.29	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29
C	0.8	0.8	0.75	0.7	0.7	0.7	0.7	0.75	0.8	0.8	0.8	0.8
ETo*	6.03	5.69	5.95	5.82	5.67	5.59	5.77	5.63	5.87	5.91	5.90	5.74
ETo (mm/hari)	4.82	4.55	4.46	4.07	3.97	3.91	4.04	4.22	4.70	4.73	4.72	4.59

(Sumber : Hasil Perhitungan)

C. Debit Aliran Rendah

Berikut ini tahap perhitungan debit tersedia
Metode FJ Mock :

1. Data Hujan
 - Curah Hujan (P)
 - Hari Hujan (h)
2. Evapotranspirasi terbatas (Et)
 - Evapotranspirasi potensial (Eto)
 - Lahan terbuka, m
 - Evapotranspirasi terbatas, Et
 $Et = Eto - (Eto \times (m/20) \times (18-n))$
3. Keseimbangan air (Water Balance)
 - Kandungan Air Tanah, DS = P – Et
 - Aliran permukaan hujan lebat, PF x P
 - Faktor aliran hujan lebat (PF)
 - Kandungan Air tanah, SS = DS – aliran permukaan
 - Kapasitas kelembaban tanah, SCM = 150 + SS
 - Kelebihan air, WS = DS
4. Aliran dan Penyimpanan Air Tanah :
 - Infiltrasi, I = WS x i
 Nilai koefisien infiltrasi, i
 $= 0,5 \times (1+k) \times \ln$
 k = koefisien resesi infiltrasi
 - k x V x (n-1)
 - Volume penyimpanan, Vn
 $Vn = \{0,5 \times (1+k) \times In\} + \{k \times V \times (n-1)\}$
 - Perubahan volume air, dVn = Vn – Vn-1
 - Aliran dasar, BF = I – dVn
 - Aliran langsung, DR = DS – I

- Aliran, R = BF + DR

- Debit Aliran Sungai (m^3/dt)

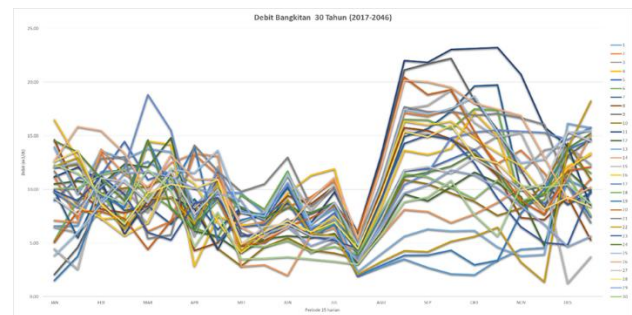
Debit aliran sungai = Luas DAS x Aliran

Tabel 3.
Rekapitulasi Debit Aliran Rendah

Tahun	Januari		Februari		Maret		April		Mei		Juni	
	Jan-1	Jan-2	Feb-1	Feb-2	Mar-1	Mar-2	Apr-1	Apr-2	Mei-1	Mei-2	Jun-1	Jun-2
2007	3.47	2.81	6.70	7.92	11.68	8.53	8.95	11.39	7.40	7.11	4.22	4.70
2008	8.22	5.06	6.17	7.61	15.50	17.00	6.14	3.29	6.71	5.01	2.19	1.53
2009	6.41	10.49	9.38	11.55	6.91	6.84	13.89	8.12	6.78	7.86	3.00	2.66
2010	12.58	9.39	9.67	7.37	9.49	15.20	8.11	11.10	9.66	14.41	6.45	5.29
2011	13.45	15.69	10.53	7.03	7.34	9.06	10.45	11.39	7.52	7.79	2.50	1.91
2012	14.64	13.80	11.21	9.91	16.29	12.45	9.31	12.95	4.88	5.47	2.10	1.55
2013	11.24	10.59	10.98	10.85	5.26	9.90	6.93	8.83	5.11	7.48	6.91	9.08
2014	15.18	14.20	6.57	7.27	7.22	5.26	5.37	5.31	6.08	4.56	1.22	1.00
2015	11.40	7.87	7.39	13.24	11.09	14.16	10.78	9.99	3.26	2.50	2.22	1.42
2016	9.05	5.75	16.22	9.68	7.39	11.75	12.70	7.86	7.36	8.36	6.89	16.92
Tahun	Juli		Agustus		September		Oktober		November		Desember	
	Jul-1	Jul-2	Ags-1	Ags-2	Sep-1	Sep-2	Okt-1	Okt-2	Nov-1	Nov-2	Des-1	Des-2
2007	2.51	2.02	1.00	1.18	0.88	0.61	0.80	0.39	3.23	5.30	12.84	14.55
2008	1.13	1.12	0.93	1.18	0.60	0.52	5.49	8.03	7.65	10.47	4.87	8.53
2009	2.02	2.09	0.80	0.74	0.77	1.86	3.69	4.74	7.83	5.67	3.54	5.79
2010	5.47	5.38	2.76	7.05	13.41	14.89	14.33	16.82	17.51	19.56	11.54	10.85
2011	1.76	1.59	0.83	0.66	1.27	0.81	3.21	1.89	13.54	9.91	9.30	6.55
2012	1.24	1.63	0.79	0.71	0.69	0.76	3.16	5.23	4.47	7.32	12.37	8.51
2013	2.39	6.35	1.27	1.02	0.80	0.88	1.84	3.83	8.23	6.60	18.20	17.52
2014	1.19	1.34	0.65	1.06	0.28	0.22	0.30	0.26	11.07	7.15	14.04	16.14
2015	1.05	0.79	0.64	0.56	0.45	0.37	0.48	0.22	4.12	9.23	11.93	6.21
2016	6.35	8.96	2.80	5.82	8.04	4.43	12.31	9.38	13.57	14.82	15.25	20.42

D. Analisis Bangkitan Debit Inflow

Dari hasil perhitungan debit bangkitan selama 30 tahun ke depan menggunakan metode Thomas Fiering dibuat grafik debit seperti berikut :



Gambar 4. Fluktuasi Debit Bangkitan 30 Tahun. (Sumber : Hasil Perhitungan)

E. Perhitungan Hujan Efektif

1. Mengurutkan data curah hujan efektif.
2. Menghitung Curah Hujan efektif dengan peluang keandalan 80 %
 $R80 = (n/5) + 1$
 n = jumlah data
3. Dari data curah hujan yang telah diurutkan didapatkan 3 peringkat terbawah sebagai R80 nya
4. Menghitung curah hujan efektif, Re tiap jenis tanaman :
 $Repadi = (R80 \times 70\%)/10$
 $Re \text{ polowijo} : 50\% R80$

$$\text{Repolowijo} = \text{fD}(1,25 \times R_{50}^{0,824} - 2,93) \times 10^{0,00095 \cdot \text{Eto}}$$

$$fD = 0,53 + (0,00016 \times 10^{-5} \times 0^2) + (2,32 \times 10^{-7} \times 100^3) = 0,76$$

- Re anggur :60% R80

$$\text{Reanggur} = fD(1,25 \times R50^{0,824-2,93}) \times 10^{0,00095 \cdot \text{Eto}}$$

$$-fD = 0,53 + (0,00016 \times 10^{-5} \times 0^2) + (2,32 \times 10^{-7} \times 100^3) = 0,76$$

Tabel 4.
Perhitungan Hujan Efektif Tanaman

Bulan	Periode	Re 80% mm/bh 1	Re Pai mm/bh 2	50% Re80% mm/bh 3	Re mm/bh 4	Eto mm/bh 5	Re Pai mm/bh 6	Re Pai mm/bh 7	60% Re80% mm/bh 8	Re mm/bh 9	Eto mm/bh 10	Re Anggur mm/bh 11	Re mm/bh 12
Jan	Jan-1	178.44	8.33	89.22				2.58	107.06				
	Jan-2	127.28	5.94	63.64	152.86	149.51	80.02	2.58	76.37	183.43	149.51	75.04	
Feb	Feb-1	157.52	7.35	78.76				2.70	94.51				
	Feb-2	154.31	7.20	77.16	155.92	132.08	78.34	2.70	92.59	187.10	132.08	73.45	
Mar	Mar-1	149.00	6.95	74.50				2.71	89.40				
	Mar-2	184.72	8.62	92.36	166.86	138.31	84.15	2.71	110.83	200.23	138.31	78.88	
Apr	Apr-1	98.81	4.61	49.41				1.53	59.29				
	Apr-2	73.43	3.43	36.71	86.12	122.24	45.89	1.53	44.06	103.35	122.24	43.18	
Mei	Mei-1	85.38	3.98	42.69				1.64	51.23				
	Mei-2	108.46	5.06	54.23	96.92	123.14	50.97	1.64	65.07	116.30	123.14	47.92	
Jun	Jun-1	16.44	0.77	8.22				1.70	9.87				
	Jun-2	6.13	0.29	3.07	11.29	117.35	6.17	0.21	3.68	13.54	117.35	6.13	
Jul	Jul-1	7.68	0.36	3.84				0.24	4.61				
	Jul-2	18.85	0.88	9.43	13.27	125.28	7.59	0.24	11.31	15.92	125.28	7.46	
Agst	Agst-1	0.00	0.00	0.00	0.86	4.22	-1.40	0.00	0.00	1.03	4.22	-1.01	
	Agst-2	1.72	0.08	0.86				0.02	1.03				
Sep	Sep-1	1.39	0.06	0.70	3.57	140.93	0.66	0.02	0.85	4.29	140.93	1.01	
	Sep-2	5.76	0.27	2.88				0.02	3.43				
Oktr	Oktr-1	15.30	0.77	7.65				0.18	9.18				
	Oktr-2	4.13	0.19	2.06	9.71	146.58	5.45	0.18	2.48	11.65	146.58	5.49	
Nov	Nov-1	132.37	6.18	66.18				2.47	79.42				
	Nov-2	153.25	7.15	76.63	142.81	141.54	74.18	2.47	91.95	171.37	141.54	69.59	
Des	Des-1	210.49	9.82	105.24				2.93	126.29				
	Des-2	150.82	7.04	75.41	180.65	142.28	90.83	2.93	90.49	216.78	142.28	85.12	

F. Kebutuhan Air Penyiapan Lahan

Berikut ini adalah hasil dari perhitungan kebutuhan air penyiapan lahan :

Tabel 5.
Perhitungan Kebutuhan Air Penyiapan Lahan

No	Parameter	Satuan	Bulan											
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ago	Sep	Okt	Nov	Des
1	Eto	mm/hari	4.82	4.55	4.46	4.07	3.97	3.91	4.04	4.22	4.70	4.73	4.72	4.59
2	Eo=1.1x Eto	mm/hari	5.31	5.01	4.91	4.48	4.37	4.30	4.45	4.64	5.17	5.20	5.19	5.05
3	P	mm/hari	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	M=Eo+P	mm/hari	7.31	7.01	6.91	6.48	6.37	6.30	6.45	6.64	7.17	7.20	7.19	7.05
5	T	hari	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
6	S	mm/hari	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
7	k = M/T	mm/hari	1.3	1.02	1.07	0.97	0.99	0.99	1.00	1.08	1.12	1.08	1.09	1.08
8	LP = k x (ek-1)	1/dt/hari	8.90	9.98	8.70	8.18	7.76	7.78	7.85	7.87	8.59	8.53	8.61	8.88
			1.03	1.15	1.01	0.95	0.90	0.90	0.91	0.99	0.99	1.00	0.99	1.03

G. Perencanaan Pola Tanam

Musim tanam pada studi ini adalah sebagai berikut :

1. Musim Tanam Hujan : November – Februari
2. Musim Tanam Kemarau I: Maret – Juni
3. Musim Tanam Kemarau II : Juli – Oktober

Alternatif pola tanam pada studi optimasi adalah sebagai berikut :

1. Alternatif 1 : Awal masa tanam pada bulan Nopember I
2. Alternatif 2 : Awal masa tanam pada bulan Nopember II
3. Alternatif 3 : Awal masa tanam pada bulan Desember I

4. Alternatif 4 : Awal masa tanam pada bulan Desember II

5. Alternatif 5 : Awal masa tanam pada bulan Januari I

6. Alternatif 6 : Awal masa tanam pada bulan Januari II

Berikut ini adalah tabel contoh perhitungan kebutuhan air tanaman :

Tabel 6.
Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman Awal Masa Tanam Nopember I D.I.
Saba

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31

H. Analisa Kebutuhan Air Baku

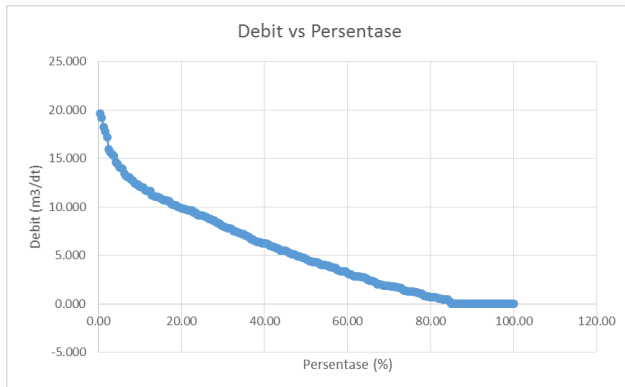
Berikut ini adalah hasil perhitungan kebutuhan air baku untuk kecamatan Busungbiu, kecamatan Seririt, dan kecamatan Banjar untuk tahun 2016-2046

Tabel 7.
Jumlah Total Kebutuhan Air Baku

Tahun	NORMAL	FHM (1.15)	FJP (1.75)	Tahun	NORMAL	FHM (1.15)	FJP (1.75)
	lt/detik	lt/detik	lt/detik		lt/detik	lt/detik	lt/detik
2016	430.31	494.85	753.04	2031	499.56	574.50	874.23
2017	434.52	499.70	760.41	2032	504.67	580.37	883.17
2018	438.79	504.61	767.88	2033	509.84	586.32	892.23
2019	443.11	509.58	775.45	2034	515.08	592.35	901.40
2020	447.49	514.62	783.11	2035	520.39	598.45	910.69
2021	451.93	519.72	790.88	2036	525.77	604.63	920.09
2022	456.42	524.89	798.74	2037	531.21	610.90	929.62
2023	460.97	530.12	806.70	2038	536.73	617.24	939.28
2024	465.58	535.42	814.77	2039	542.32	623.66	949.06
2025	470.25	540.79	822.94	2040	547.98	630.17	958.96
2026	474.98	546.23	831.22	2041	553.71	636.77	968.99
2027	479.77	551.74	839.60	2042	559.52	643.44	979.15
2028	484.63	557.32	848.09	2043	565.40	650.21	989.44
2029	489.54	562.97	856.70	2044	571.35	657.06	999.87
2030	494.52	568.70	865.41	2045	577.39	664.00	1010.43
				2046	583.50	671.02	1021.12

I. Analisis Potensi PLTA

1. Berdasarkan duration curve didapatkan: $Q_{80} = 1,55 \text{ m}^3/\text{dt}$



Gambar 5. Duration Curve

2. Tinggi Jatuh Efektif, Heff

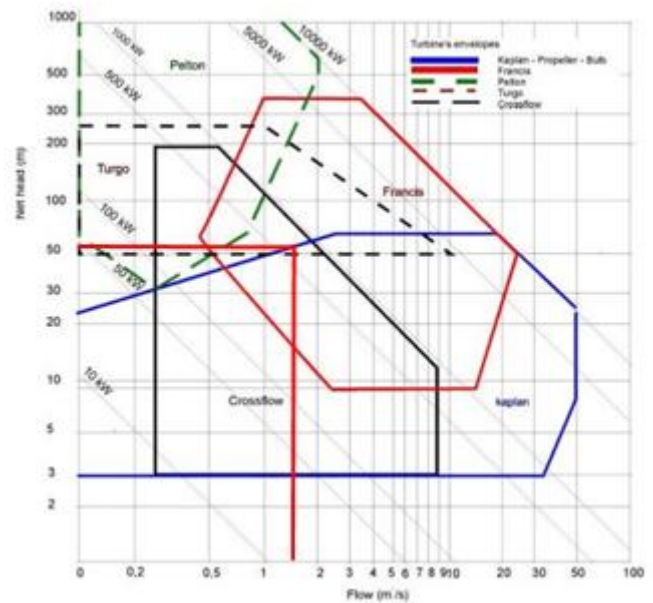
Tinggi jatuh efektif didapat dari selisih elevasi permukaan air di *upstream* dan di *downstream*

- Elevasi *upstream* = + 162,40 m
- Elevasi *downstream* = + 102,50 m
- Heff bruto = elv. *upstream* - elv. *downstream*
- Heff bruto = (+162,40) - (+102,50) = 59,90 m
- Heff losses = 10% x Heff bruto = 0,1 x 59,90 = 5,99 m
- Heff = Heff bruto - Heff losses = 59,90 - 5,99 = 53,91 m
- Tekanan maksimal 10 % dari Head bruto (Patty, 1995)

3. Pemilihan Jenis Turbin

Berdasarkan grafik *Turbin Selection* (Gambar 4.5). Turbin yang dipilih dengan besar debit air $1,55 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan tinggi jatuh efektif 53,91 m adalah **turbin Francis**. Pemilihan ini dipengaruhi juga karena pengoperasiannya yang mudah. Adapun Spesifikasi dari Turbin Francis :

- Efisiensi turbin, $\eta = 91\% = 0,91$



Gambar 6. Pemilihan Jenis Turbin

Tabel 8.

Hubungan jenis turbin dengan berbagai variasi head

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
Kaplan dan Propeller	$2 < H < 40$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$
Crossflow	$3 < H < 250$
Turgo	$50 < H < 250$

4. Daya Listrik

- $P = \eta \times g \times \text{Heff} \times Q$
- $P_{80} = 91\% \times 9,8 \times 55,8 \times 1,55 = 743,22 \text{ kW}$
= 0,74 MW

5. Energi Listrik $E = P \times t$

- $E_{80} = 743,22 \text{ kW} \times 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}$
= 6510607,92 kWh = 6510,61 MWh

J. Analisis Simulasi Pola Operasi Waduk

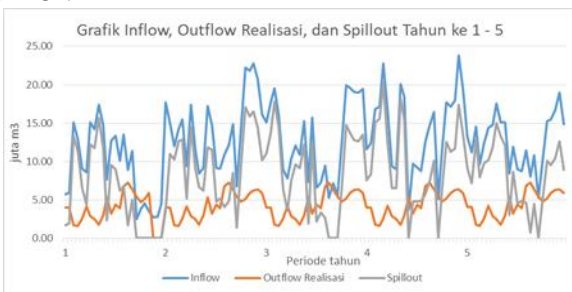
Berikut ini adalah tabel contoh water balance awal masa tanam Nopember I dengan luas daerah irigasi optimasi :

Tabel 9.
Perhitungan analisis Water Balance waduk pola tanam Nopember I tahun ke-1.

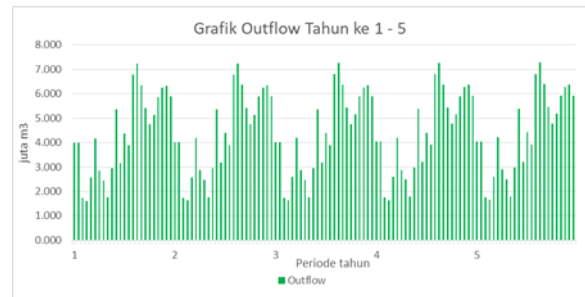
Tahun ke	Bulan	Periode	Jumlah hari	Q inflow			Q outflow					
				Debit Sungai			Irigasi		Air Baku		Evaporasi	
				Hari	m ³ /dt	10 ⁶ m ³	m ³ /dt	10 ⁶ m ³	m ³ /dt	10 ⁶ m ³	mm/hr	10 ⁶ m ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	NOV	I	15	4.42	5.73	2.19	2.84	0.76	0.99	7.30	0.05	
		II	15	4.57	5.92	2.19	2.84	0.76	0.99	7.30	0.05	
	DES	I	16	10.90	15.07	0.36	0.50	0.76	1.05	4.80	0.03	
		II	15	9.94	12.88	0.36	0.47	0.76	0.99	4.80	0.03	
	JAN	I	16	6.59	9.10	0.97	1.34	0.76	1.05	4.80	0.03	
		II	15	6.62	8.58	2.34	3.03	0.76	0.99	4.80	0.03	
	FEB	I	15	11.67	15.12	1.32	1.71	0.76	0.99	4.50	0.03	
		II	14	11.78	14.25	1.15	1.39	0.76	0.92	4.50	0.03	
	MAR	I	16	12.60	17.42	0.38	0.52	0.76	1.05	5.80	0.04	
		II	15	11.36	14.72	1.38	1.79	0.76	0.99	5.80	0.04	
	APR	I	15	5.90	7.65	3.24	4.19	0.76	0.99	6.10	0.04	
		II	15	9.78	12.68	1.55	2.01	0.76	0.99	6.10	0.04	
	MEI	I	16	9.67	13.37	2.27	3.14	0.76	1.05	6.60	0.05	
		II	15	7.76	10.06	2.10	2.72	0.76	0.99	6.60	0.04	
	JUN	I	15	10.43	13.52	4.33	5.61	0.76	0.99	7.20	0.05	
		II	15	6.89	8.93	4.68	6.07	0.76	0.99	7.20	0.05	
	JUL	I	16	8.23	11.38	3.69	5.11	0.76	1.05	8.00	0.06	
		II	15	1.95	2.53	3.27	4.24	0.76	0.99	8.00	0.05	
	AGU	I	16	2.75	3.81	2.53	3.50	0.76	1.05	7.20	0.05	
		II	15	3.50	4.53	3.06	3.97	0.76	0.99	7.20	0.05	
	SEP	I	15	2.72	3.53	3.63	4.70	0.76	0.99	8.80	0.06	
		II	15	2.12	2.75	3.91	5.07	0.76	0.99	8.80	0.06	
	OKT	I	16	2.03	2.80	3.68	5.08	0.76	1.05	8.70	0.06	
		II	15	3.42	4.44	3.63	4.71	0.76	0.99	8.70	0.06	

Tahun ke	Bulan	Periode	Q outflow				I-O	Tampungan	Outflow Realisasi	Spillout	Kete rangsan
			Mainte nance Flow		Total Q Outflow						
			m ³ /dt	10 ⁶ m ³	m ³ /dt	10 ⁶ m ³					
1	2	3	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	NOV	I	0.10	0.13	4.000	1.73	10.08	4.000	1.73	Sukses	
		II	0.10	0.13	4.001	1.92	10.08	4.001	1.92	Sukses	
	DES	I	0.10	0.14	1.720	13.35	10.08	1.720	13.35	Sukses	
		II	0.10	0.13	1.613	11.27	10.08	1.613	11.27	Sukses	
	JAN	I	0.10	0.14	2.565	6.54	10.08	2.565	6.54	Sukses	
		II	0.10	0.13	4.175	4.41	10.08	4.175	4.41	Sukses	
	FEB	I	0.10	0.13	2.856	12.26	10.08	2.856	12.26	Sukses	
		II	0.10	0.12	2.454	11.79	10.08	2.454	11.79	Sukses	
	MAR	I	0.10	0.14	1.750	15.67	10.08	1.750	15.67	Sukses	
		II	0.10	0.13	2.941	11.78	10.08	2.941	11.78	Sukses	
	APR	I	0.10	0.13	5.349	2.30	10.08	5.349	2.30	Sukses	
		II	0.10	0.13	3.165	9.51	10.08	3.165	9.51	Sukses	
	MEI	I	0.10	0.14	4.374	9.00	10.08	4.374	9.00	Sukses	
		II	0.10	0.13	3.881	6.18	10.08	3.881	6.18	Sukses	
	JUN	I	0.10	0.13	6.775	6.74	10.08	6.775	6.74	Sukses	
		II	0.10	0.13	7.235	1.69	10.08	7.235	1.69	Sukses	
	JUL	I	0.10	0.14	6.353	5.03	10.08	6.353	5.03	Sukses	
		II	0.10	0.13	5.409	-2.88	7.20	5.409	0	Sukses	
	AGU	I	0.10	0.14	4.740	-0.93	6.26	4.740	0	Sukses	
		II	0.10	0.13	5.133	-0.60	5.66	5.133	0	Sukses	
	SEP	I	0.10	0.13	5.872	-2.34	3.32	5.872	0	Sukses	
		II	0.10	0.13	6.239	-3.49	0.00	0.000	0	Gagal	
	OKT	I	0.10	0.14	6.334	-3.53	0.00	0.000	0	Gagal	
		II	0.10	0.13	5.879	-1.44	0.00	0.000	0	Gagal	

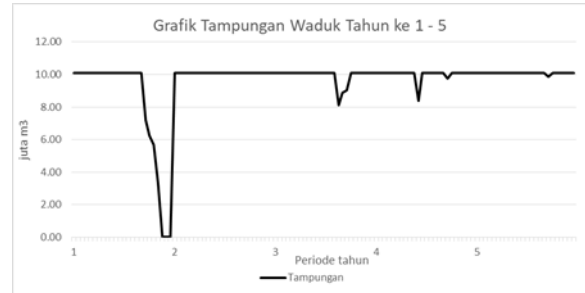
Dari perhitungan water balance diperoleh rasio keberhasilan waduk dalam memenuhi kebutuhan yaitu mencapai 99,44%. Kemudian dibuat tiga buah grafik yang menunjukkan keadaan air pada waduk. Berikut ini adalah contoh grafik pada tahun ke 1-5 :



Gambar 7. Grafik Inflow, Outflow Realisasi, dan Spillout tahun ke 1-5



Gambar 8. Grafik Outflow tahun ke 1-5



Gambar 9. Grafik Tampungan Waduk tahun ke 1-5

K. Perbandingan Perencanaan Simulasi

Hasil dari pelaksanaan studi ini yaitu perbandingan antara perhitungan perencanaan simulasi pola operasi yang sudah ada (eksisting) dengan hasil perhitungan perencanaan alternatif pola operasi dari tugas akhir ini. Perbandingan hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada tabel 5.3.

Tabel 10.

Perbandingan perencanaan eksisting dan hasil studi

Aspek Perbandingan	Eksisting	Hasil studi
Debit andalan	Debit 15 harian bendung saba tahun 1988-2003 (16 tahun). Debit terbesar adalah 28,07 m ³ /dt, debit terkecil adalah 0 m ³ /dt	Perhitungan debit andalan dengan data hujan 15 harian tahun 2007-2016 (10 tahun) menggunakan metode mock dengan debit terbesar adalah 20,42 m ³ /dt dan debit terkecil adalah 0,22 m ³ /dt
Kebutuhan air maksimum di intake (DR)		
Air irigasi (Jan I dan Jan II)	1. Luas daerah irigasi 1794,82 hektar <ul style="list-style-type: none"> Januari I <ul style="list-style-type: none"> D.I. Saba : 2,61 m³/dt D.I. Puluran : 0,73 m³/dt Januari II <ul style="list-style-type: none"> D.I. Saba : 2,75 m³/dt D.I. Puluran : 0,76 m³/dt 	1. Luas daerah irigasi 1794,82 hektar <ul style="list-style-type: none"> Januari I <ul style="list-style-type: none"> D.I. Saba : 2,24 m³/dt D.I. Puluran : 0,57 m³/dt Januari II <ul style="list-style-type: none"> D.I. Saba : 2,45 m³/dt D.I. Puluran : 0,59 m³/dt 2. Luas daerah irigasi 3589,64 hektar <ul style="list-style-type: none"> Januari I <ul style="list-style-type: none"> D.I. Saba : 4,47 m³/dt D.I. Puluran : 1,14 m³/dt Januari II <ul style="list-style-type: none"> D.I. Saba : 4,84 m³/dt D.I. Puluran : 1,19 m³/dt
Air baku (tahun 2043)	Kondisi normal = 312,44 lt/dt Kondisi hari maksimum = 364,30 lt/dt Kondisi jam puncak = 494,17 lt/dt	1. Tanpa penambahan keperluan pelabuhan <ul style="list-style-type: none"> Kondisi normal = 465,60 lt/dt Kondisi hari maksimum = 535,21 lt/dt Kondisi jam puncak = 814,44 lt/dt 2. Dengan penambahan keperluan pelabuhan <ul style="list-style-type: none"> Kondisi normal = 565,40 lt/dt Kondisi hari maksimum = 650,21 lt/dt Kondisi jam puncak = 989,44 lt/dt
PLTA	Kapasitas terpasang = 2 x 0,75 MW	1 turbin = 0,74 MW
Simulasi	Tingkat keberhasilan rata-rata 96,50 %	Tingkat keberhasilan rata-rata sebelum optimasi 100% Tingkat keberhasilan rata-rata setelah optimasi 98,50%

IV. KESIMPULAN

1. Hasil dari bangkitan debit inflow, yaitu debit maksimal sebesar $23,23 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan debit terendah adalah $1,28 \text{ m}^3/\text{detik}$. Untuk debit outflow maksimal sebesar $6,24 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan debit terendah sebesar $3,55 \text{ m}^3/\text{detik}$.
2. Besar kebutuhan air irigasi maksimum untuk awal masa tanam Nopember I dengan luas daerah irigasi 3589,64 Ha D.I. Saba adalah $3,66 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan minimum sebesar $0,27 \text{ m}^3/\text{detik}$. Untuk daerah irigasi puluran kebutuhan maksimum sebesar $1,02 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan minimum sebesar $0,09 \text{ m}^3/\text{detik}$.
3. Besar kebutuhan air baku untuk tahun 2017-2046 pada keadaan normal adalah sebesar 583,50 lt/dt. Sedangkan besar kebutuhan air baku pada hari maksimum adalah sebesar 671,02 lt/dt. Untuk jam puncak adalah sebesar 1021,12 lt/dt.
4. Besar debit Andalan 80% yang digunakan adalah sebesar $1,55 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk digunakan perhitungan potensi PLTA dan dapat membangkitkan daya sebesar 0,74 MW, serta energi listrik hingga mencapai 6510,61 MWh.
5. Dari hasil perbandingan yang telah dibuat, dapat diketahui bahwa alternatif yang lebih baik adalah perhitungan perencanaan simulasi pola operasi hasil studi. Alasan dari penilaian ini adalah perencanaan hasil studi dilakukan setelah waduk sudah selesai dibangun, sudah dilakukan optimasi kebutuhan air yang diperlukan, dan tingkat keberhasilan waduk dari perencanaan studi yaitu rata-rata sebesar 98,50% yang mana tingkat keberhasilan tersebut lebih besar dari perencanaan pada eksisting.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Buleleng. 2017. **Buleleng Dalam Angka**. Buleleng : Badan Pusat Statistik.
- [2] Balai Besar Wilayah Sungai Bali Penida. 2015. **Data Teknis Waduk Titab**. Denpasar : Balai Besar Wilayah Bali Penida.
- [3] Departemen Pekerjaan Umum Pengairan. 1986. **Standar Perencanaan Irigasi KP – 01**. Bandung : CV Galang Persada.
- [4] Limantara, Lily Montarcih. 2010. **Hidrologi Praktis**. Bandung: Lubuk Agung.

- [5] Nusantara, Danayanti Azmi Dewi. 2016. **Perencanaan PLTA**. Bahan Ajar. Surabaya : Program S1 Departemen Teknik Sipil ITS.
- [6] Soemarto, CD. 1987. **Hidrologi Teknik**. Jakarta : Penerbit Usaha Nasional.